

Détection automatisée de défauts dans les matériaux composites par shearographie

J.-F. Vandenrijt, M. Georges

Centre Spatial de Liège, Université de Liège, Avenue du Pré Aily, B-4031 Angleur, Belgium

1. Introduction

Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés dans l'industrie aéronautique. Un des enjeux majeurs est la détection des défauts dans ces derniers. En effet, ils produisent de nouveaux types de défauts à détecter à l'issue de la fabrication ou pendant leur maintenance (délaminage sous impact, défaut de collage, etc.). Ceci engendre un besoin d'outils et de procédures de détection de défauts spécifiques aux composites. En outre, la multiplication de ces structures en composite imposera à ces outils d'être peu onéreux, robustes, polyvalents et surtout d'usage aisé, sur site, par des non spécialistes. Parmi les techniques d'analyse actuelles la shearographie semble particulièrement appropriée à répondre aux exigences énoncées ci-avant [1,2]. Elle possède en effet l'efficacité propre aux techniques holographiques sans présenter une sensibilité contraignante aux conditions d'utilisation. Le coût moindre de ses composants la rend également la moins onéreuse des techniques holographiques.

Cependant, l'interprétation des résultats reste une tâche délicate nécessitant des connaissances particulières. Dans le but de faciliter l'interprétation des images de phase obtenue par shearographie, nous avons développé une méthode mettant en évidence de manière automatique les défauts dans une pièce de façon à rendre l'interprétation des résultats abordable facilement par une personne non spécialisée.

2. Développement d'une méthode de détection automatique des défauts

Pour le développement de la méthode, nous avons simulé des images shearographiques, avant de l'éprouver sur des images réelles. Une caractéristique commune à la plupart des défauts vus par interférométrie, et en particulier en shearographie, est d'induire localement une densité plus élevée de franges. Afin de simuler cela, une déformation locale est ajoutée à une déformation globale, et de l'ensemble est calculée une carte de phase modulo 2π , à laquelle on ajoute du bruit (cf. Figure 1). La méthode que nous avons développée consiste à déterminer la pente du déphasage en calculant la moyenne géométrique des gradients selon les axes horizontal et vertical de l'image de déphasage (cf. Figure 2). Ce gradient contient la somme des contributions globales et locales. Afin de ne conserver que ces dernières (correspondant aux défauts), nous soustrayons du gradient son ajustement polynomial (cf. Figure 3). Nous pouvons à présent aisément constater que les défauts présents dans l'image de déphasage apparaissent clairement comme les zones où le gradient est le plus élevé. Le moyen le plus simple d'automatiser la détection de ces défauts est de définir une valeur seuil, appelée G_d , au-delà de laquelle un défaut est considéré comme présent. En utilisant cette méthode, un algorithme a été développé. Les défauts détectés sont automatiquement marqués au moyen d'un rectangle rouge (cf. Figure 4).

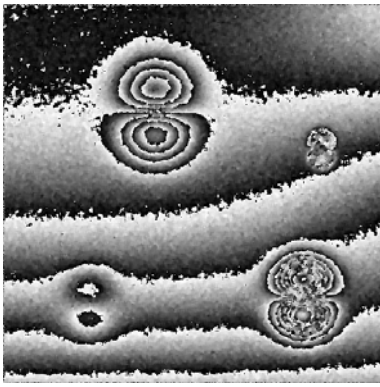


Figure 1

Déphasage obtenu au moyen d'une simulation numérique d'une mesure par shearographie d'un échantillon présentant quatre défauts.

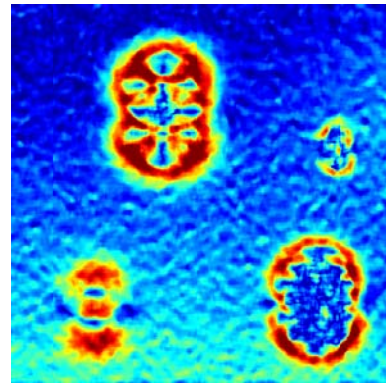


Figure 2

Gradient calculé à partir de la Figure 1.

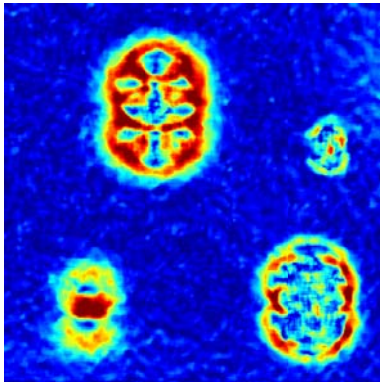


Figure 3

Image du gradient dont la composante globale a été retirée au moyen d'un ajustement polynomial.

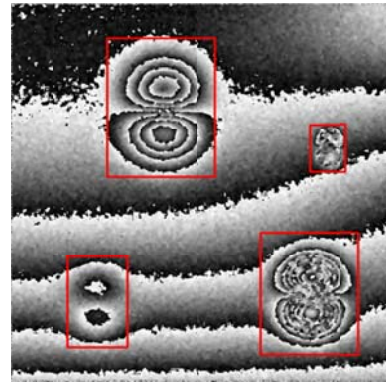


Figure 4

Image fournie par l'algorithme de détection de défaut, où les défauts détectés sont montrés au moyen de rectangles rouges.

La méthode a été ensuite testée sur des images réelles. Celles-ci sont plus compliquées que les images simulées. En effet, la structure fibreuse du matériau composites (p.ex. en fibres de carbone) induit des déformations locales en surface qui perturbent les images de phase produisant parfois un grand nombre de faux-positifs (cf. Figure 5 et Figure 6). À cela s'ajoute le bruit dans les mesures qui est parfois élevé, créant également des faux positifs. Nous avons été capables de les filtrer sans éliminer les défauts réels en combinant plusieurs étapes.

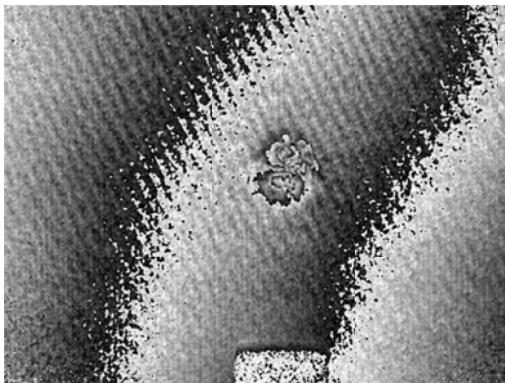


Figure 5

Mesure de déphasage par shearographie d'un échantillon en matériau composite sollicité thermiquement.



Figure 6

Les rectangles blancs montrent les zones où l'algorithme détecte des défauts potentiels.



Figure 7

Fusion des rectangles en contact ou proche les uns des autres et suppression des rectangles dont les dimensions sont inférieures à L_{min} .

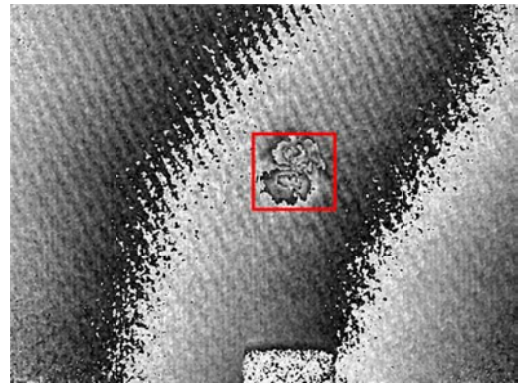


Figure 8

Défauts finalement identifiés dans l'image de déphasage à la Figure 5.

Premièrement, nous pouvons avec confiance retirer les zones de taille inférieure à la structure du matériau, un défaut étant nécessairement plus grand. Pour cela, nous définissons une taille minimale de défaut, notée L_{min} . Il est possible d'améliorer encore ce filtrage. En effet, nous pouvons constater que les faux-positifs présentent des pentes de gradient très importantes sur une faible étendue. Afin d'accentuer la différence de taille entre un défaut et les faux-positifs, nous définissons un seuil de contour, noté G_c et inférieur à G_d , pour mesurer la taille de la zone. Cela a pour effet d'augmenter la zone identifiée où se trouve les défauts réels tout en augmentant de façon très faible les faux-positifs (cf. Figure 9).

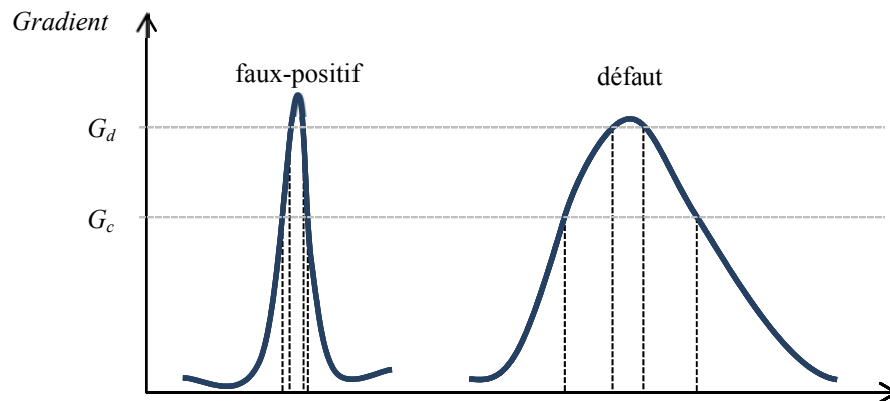


Figure 9

Évaluation de la taille d'un potentiel défaut sur base d'un seuil de contour G_c , permettant de mieux discriminer plus facilement les faux-positifs sur base de la taille de la zone détectée.

Finalement, les défauts peuvent se retrouver fractionnés en un ensemble de défauts d'étendue plus faible (cf. Figure 6 au centre de l'image). Pour recomposer le défaut complet, nous fusionnons les défauts en contact ou à proximité les uns des autres. Au final, après ces étapes successives, les faux-positifs peuvent être éliminés de manière efficace, nous permettant de détecter automatiquement les défauts à partir des images de shearographie sur des matériaux composites. Ainsi, le défaut présent dans l'image de déphasage à la Figure 5 est détecté avec succès et sans faux-positif comme le montre le résultat final à la Figure 8.

Après avoir fait varier les valeurs de G_d , G_c , et L_{min} , nous avons dégagé un ensemble de valeurs optimales afin de maximiser la détection des défauts. Nous avons appliqué cette méthode sur des échantillons représentatifs de l'industrie aéronautique inspectés par shearographie en utilisant la stimulation thermique. L'instrument shearographique a été développé conjointement par la société Optrion et le CSL dans le cadre du projet Dé-Composit et est basé sur une configuration de Michelson. Les premiers résultats obtenus sont encourageants. Des exemples montrant la détection entièrement

automatisée de défauts sur deux de ces échantillons, observés en conditions industrielles, sont présentés à la Figure 10.

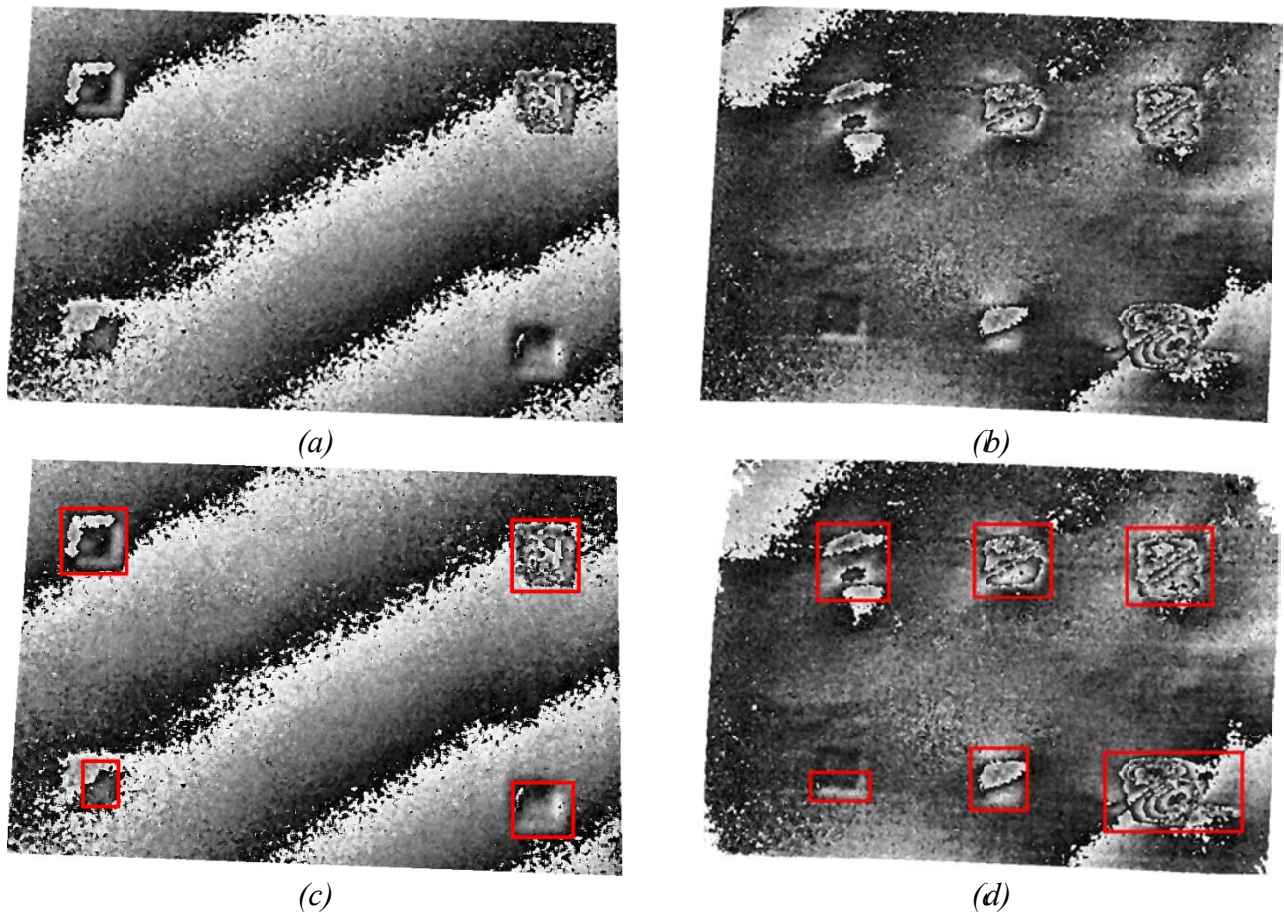


Figure 10

(a)(b) Image de déphasage observé par shearographie de deux échantillons en matériaux composites soumis à une charge thermique. (c)(d) Défauts détectés automatiquement mis en évidence par la génération de rectangles rouges.

3. Conclusion

Nous avons présenté une méthode nouvelle permettant la détection entièrement automatisée de défaut dans les matériaux composites à destination de l'industrie. La méthode localise les densités élevées de franges dans l'image. Elle est capable de fonctionner sur des pièces présentant une structure visible dans les images de déphasage. Les premiers résultats obtenus, utilisant un ensemble de paramètres optimaux déterminés de façon empirique donne des résultats prometteurs. En parallèle à une méthodologie expérimentale permettant d'obtenir des images de déphasage optimales, cette méthode pourrait à l'avenir permettre l'investigation rapide de pièces en composites par des personnes non spécialistes.

4. Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre du projet DéComposit, cofinancé par la Région Wallonne (DG06), dans le cadre du programme CWality, et par la société Optrion S.A.

5. Bibliographie

1. W. STEINCHEN, « Digital Shearography: Theory and Application of Digital Speckle Pattern Shearing », SPIE-International Society for Optical Engineers, 2003

2. M. Kalms, W. Osten, « Mobile shearography system for the inspection of aircraft and automotive components », Optical Engineering 42, pp. 1188–1196, 2003
3. A. FANTIN, D. WILLEMANN, M. VIOTTI, A. ALBERTAZZI, « A computational tool to highlight anomalies on shearographic images in optical flaw detection, Proc. SPIE 8788, pp. 8788-20, 2013